

НАЙПОШИРЕНІШІ НУКЛІДИ - ПРОДУКТИ РОБОТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (ЧЕРЕЗ 12 РОКІВ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ)

Запропоновано розподіли продуктів поділу ядер Урану за масовим та зарядовим числами, які залишилися на прилеглих до ЧАЕС територіях після аварії на 4 блоці. Розглянуто ймовірні місця дислокації та шляхи міграції радіонуклідів за 12 років.

Продукти роботи уран-графітового реактора на теплових нейтронах можна поділити на чотири групи:

1. Залишки пального, тобто ядра Урану U-235, та решта ізотопів Урану: ^{238}U , ^{234}U , ^{236}U .
2. Трансуранові елементи, що виникли і накопичилися внаслідок захоплення швидких нейтронів ядрами ^{238}U і наступних β -перетворень.
3. Осколки поділу ядер ^{235}U під дією нейтронів. Це β -активні елементи середини таблиці Д.І.Менделєєва.
4. Залишки сповільнювача (графіту) та конструктивних матеріалів, що стали радіоактивними внаслідок інтенсивного опромінення нейтронами.

Як відомо [1], значна частина цих елементів внаслідок аварії на 4-ому блоці Чорнобильської АЕС стала забруднюючим чинником на значних територіях, прилеглих до станції. В момент вибуху реактора біля 50 т ядерного пального, трансуранів і осколків поділу випарувалося і було викинуто в атмосферу у вигляді дрібнодисперсних частинок. Утворилося дуже потужне джерело радіоактивних аерозолей, яке постійно поповнювалося внаслідок загорання реакторного графіту і розносилося повітряними потоками на значні відстані. Ще близько 70 т пального і продуктів роботи реактора викинуто в завал поблизу реактора, на дах четвертого блока, прилеглу територію і навіть на вентиляційну трубу. В зруйнованій шахті реактора залишилися біля 50 т пального і 700 т реакторного графіту. Останній продовжував вигорати впродовж перших двох тижнів, спричиняючи повторні викиди радіоактивних аерозолей. За оцінками, опублікованими після Чорнобильської катастрофи, потужність поглинутої дози випромінювання біля зруйнованого реактора (100-200 м від активної зони) була в межах від 10 до 150 грей за годину (летальна доза в 5 зівертів набувалася, відповідно, за час від 10 хв. до 40 с.).

Нашою метою було дати оцінку відповідної кількості продуктів роботи реактора на момент аварії та через 12 років після неї, охарактеризувати хімічні властивості радіонуклідів і їх з'єднань, що залишилися на даний час, спрогнозувати ймовірні місця їх дислокації, шляхи міграції та можливі наслідки.

Оцінка кількості нуклідів першої та другої групи зроблена нами на основі довідкових даних про завантаження та вивантаження ядерного реактора, за потужністю рівного чорнобильському. Левова частка з них належить ізотопам Урану - понад 59 %, біля 1 % припадає на трансуранові елементи. Серед них переважають ізотопи Плутонію (0,88 %), більша частина яких - це ізотопи ^{239}Pu ($T=2,41 \cdot 10^4$ років). Решту складають ізотопи Нептунію-237 (0,05 %), Америцію-241, 243 та Кюрію-244 (разом 0,03 %).

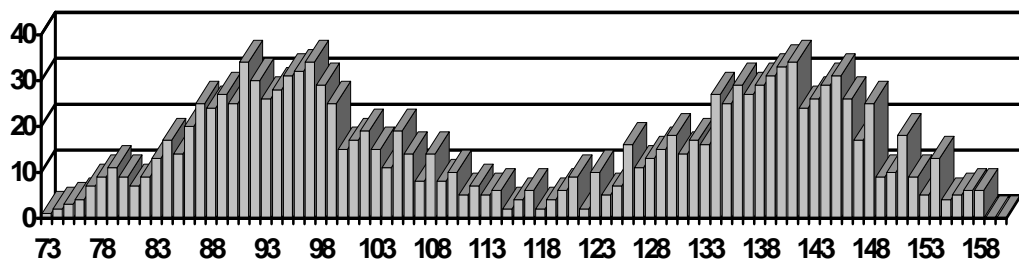
Оцінку відносної кількості осколків - продуктів поділу ядер U-235 - зроблено на основі запропонованої і розробленої одним із авторів (М.Т.М.) діаграми. Вона дозволяє врахувати всі можливі варіанти поділу важкого ядра під дією теплових нейтронів на пари - осколки, а отже оцінити незалежний (безпосередній) вихід цих осколків. На діаграмі легко простежити і врахувати наступні β -перетворення осколків, оцінити відносну кількість β -радіоактивних нуклідів на будь-який момент часу і повний вихід стабільних ізотопів, кожен з яких утворюється як безпосередньо під час поділу ядра, так і внаслідок ланцюжка наступних β -розпадів відповідних радіоактивних ізотопів.

Вихід даного осколка пропорційний числу варіантів поділу ядра ^{235}U , під час яких він з'являється. Ми обмежились тими варіантами, при яких утворюється не більше п'яти вторинних нейтронів ($i=0,1,2,3,4,5$), оскільки ймовірність поділу з більшим числом нейтронів мала.

Групуючи осколки за масовим числом, можна одержати розподіл числа способів утворення нуклідів - ізобар $N(A)$ залежно від масового числа. Цей розподіл не залежить від часу, оскільки при β -розпадах масові числа нуклідів не змінюються, а α -активних нуклідів серед осколків мало, до того ж вони довгоживучі: ізотопи Самарію ^{147}Sm (10^{11} років), ^{148}Sm (10^{15} років) та ^{144}Nd (10^{15} років) (рис.1).

Групуючи осколки за зарядовим числом, одержимо розподіл числа способів утворення нуклідів - ізотопів $N(Z)$. Цей розподіл, очевидно, змінюється з часом. Безпосередній вихід осколків ізотопів ($t=0$) характеризується гістограмою, симетричною відносно Паладію ($Z=46$), з піками біля Kr - Rb - Sr - Zr і, відповідно, біля Ba - Cs - Xe - Te (рис.2). При наступних β -розпадах відбувається швидкий перерозподіл ізотопів, внаслідок чого число одних різко зростає, а інших зменшується. Аналогічно будується гістограма розподілу $N(Z)$ на період $t=12$ років (рис.3). З розподілу видно, що на даний

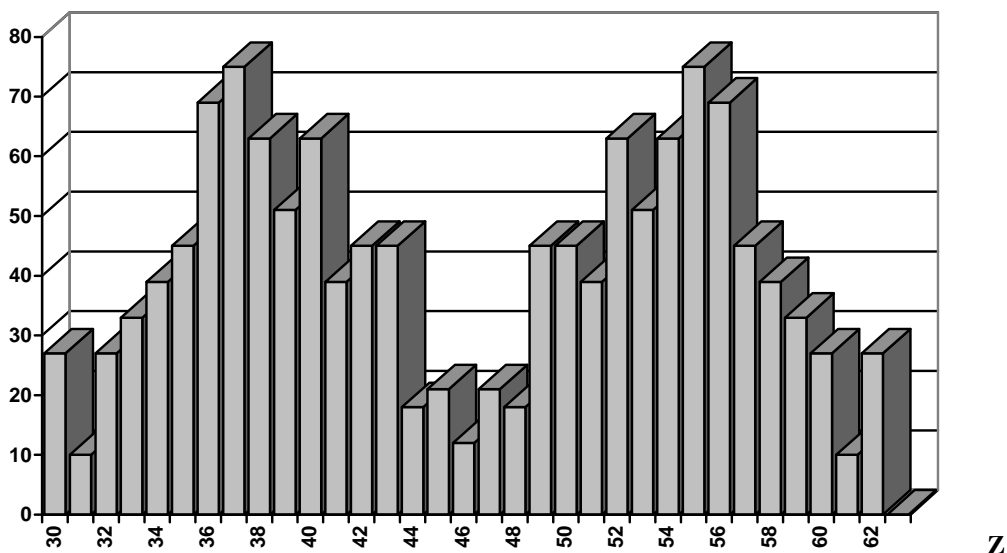
$$N(A) \neq f(t)$$



A

Рис. 1. Розподіл числа способів утворення нуклідів-ізобар.

$$N(Z)=f(t)$$



Z

Рис.2. Розподіл числа способів утворення нуклідів-ізононів ($t=0$).

період залишилося лише декілька радіоактивних ізононів - осколків. Так, 13 % ізононів Криптоніу припадає на радіоактивний ^{85}Kr ($T=10,73$ роки), 28 % ізононів Стронцію - це ^{90}Sr ($T=28$ років), 33 % ізононів Цезію - ^{137}Cs ($T=30$ років), 25 % ізононів самарію - ^{151}Sm ($T=93$ роки). Два ізонони мають великий період піврозпаду: Технецій-99 ($T=10^5$ років) і Селен-79 (25% від загальної кількості ізононів Селену) ($T=10^6$ років).

Досить високою активністю характеризуються лише перші 4 з перелічених нуклідів. При цьому інертний радіоактивний газ ^{85}Kr утворюється тільки під час роботи реактора і тут же відводиться через вентиляційну трубу; серед викидів зруйнованого реактора цього ізонопа практично немає. Однак шкідлива фізіологічна дія нуклідів визначається не тільки їх радіоактивністю, а й хімічними властивостями елементів та їх сполук. У цьому відношенні надзвичайно небезпечними є довгоживучий ізоноп ^{239}Pu . При попаданні в організм він викликає розрив довгих молекул ДНК, що спричинює переродження клітин. У чистому виді він також дуже токсичний. Допустима доза ^{239}Pu в

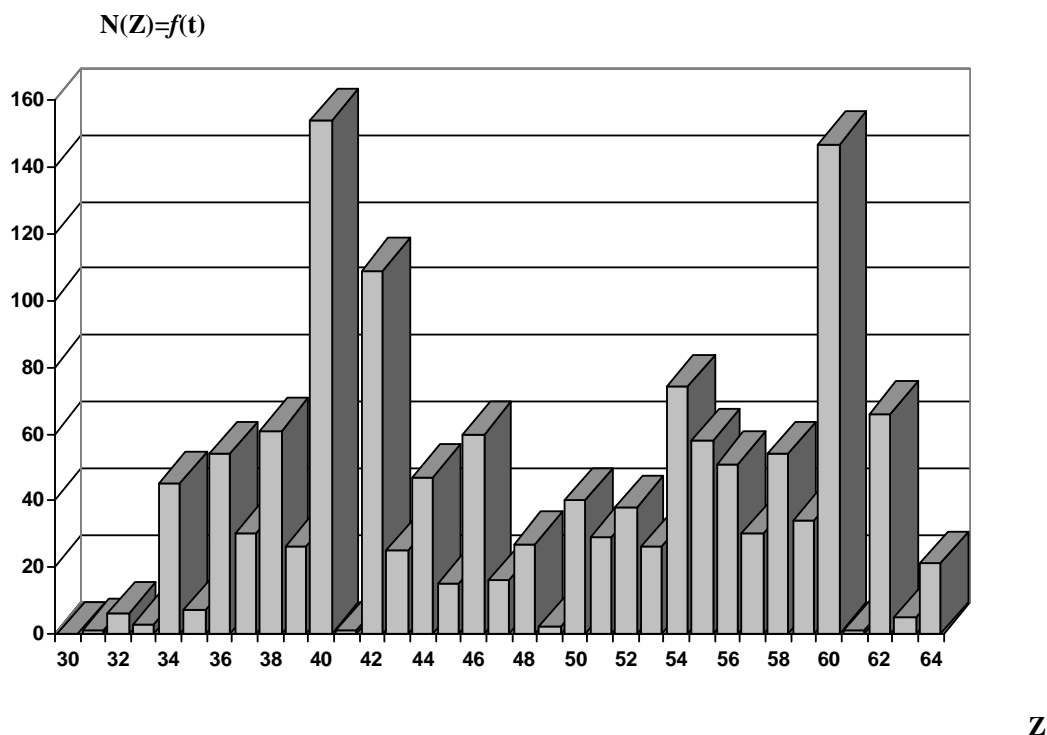


Рис.3. Розподіл числа способів утворення нуклідів-ізоотопів через 12 років.

питній воді становить 0,035 мкг/л, в легенях - 0,13 мкг. Ці дози є майже в 100 разів меншими, ніж для таких найтоксичніших із важких металів, як берилій, кадмій та ін.[2].

Другою групою радіонуклідів є відносно менш токсичні хімічні елементи, сполуки яких, як правило, добре розчинні у воді. Вони легко мігрують водними шляхами, що призводить до розширення зони забруднення. Сюди відносяться лужні (в нашому випадку - Рубідій та Цезій) та лужно-земельні елементи (Стронцій і Берилій), а також, певною мірою, лантаноїди (в першу чергу це Неодим ($Z=60$), Самарій ($Z=62$), Церій і Лантан). Всі перелічені елементи, особливо це стосується Неодиму та Самарію, присутні в групі осколків у значних кількостях. Хоч процес міграції відбувається дуже повільно, все ж його наслідки є дуже небезпечними: елементи, які мігрують найбільше, добре утримуються живими організмами, бо вони є конкурентами подібних, постійних компонентів людського організму. Сюди відносяться перш за все Стронцій-90, який замінює в організмі Кальцій, та Цезій-137 – замітник Натрію і Калію. До того ж, Цезій не схильний до утворення міцних сполук, у тому числі й у живому організмі, що зумовлює труднощі виведення елемента з організму. Стронцій зв'язується краще, проте в організмі він утримується довго, особливо, коли входить до складу кісток.

Нарешті можна виділити і третю групу радіонуклідів, відносно не дуже токсичних, більшість сполук яких є важкорозчинними. Такі елементи залишаються, головним чином, на тих місцях, де вони з'явилися внаслідок аварії. Вони досить повільно мігрують у нижні шари ґрунту. Це основна група хімічних елементів, таких, як Цирконій ($Z=40$), Молібден ($Z=42$), Станум, Стийбій та інші. Два перші з них абсолютно переважають серед осколків, хоч радіаційно небезпечним є лише ^{93}Zr , повний вихід якого найбільший серед елементів-осколків.

Решта нуклідів на даний час є стабільними або довгоживучими ізотопами. Внаслідок цього рівень радіаційного забруднення на даний час (через 12 років) значно знизився. Він продовжуватиме повільно знижуватися й надалі внаслідок розпаду радіонуклідів і їх міграції. Проте в зоні, безпосередньо прилеглої до ЧАЕС, ще тривалий час існуватимуть основні чинники радіоактивного забруднення. Вони повільно опускатимуться з поверхні ґрунту в нижні його шари (це, звичайно, не стосується важких за розмірами осколків палива та елементів конструкцій). Тому загальний радіоактивний фон тут ще довго перевищуватиме природний. Що стосується порівняно віддалених територій, то на них продовжуватиметься міграція радіоактивних елементів. При цьому вид міграції з часом змінюється. Якщо в перші періоди часу головним видом міграції було перенесення частинок у вигляді пилу (аерозолей) під дією атмосферних та техногенних факторів (шинами транспорту), то згодом такий вид міграції радіонуклідів став мало ймовірним через їх занурення в ґрунт. Тому нині на перше місце виходить міграція елементів водними шляхами, про що йшла мова вище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Г.У.Медведев. Чернобыльская тетрадь. -К.: Дніпро, 1990.-С.52.
2. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп. -Л.: Химия, 1988.-512 с.

Мордовець Микола Трифонович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Житомирського державного педагогічного інституту ім.І.Франка.

Наукові інтереси:

- фізика ядра.

Онищенко Юрій Климівич – кандидат хімічних наук, зав.кафедри хімії Житомирського державного педагогічного інституту ім.І.Франка.

Наукові інтереси:

- аналітична хімія малих концентрацій;
- проблеми навчання хімії у вищих навчальних закладах.